

# 音響式炭面計によるユニット方式 チューブミルの給炭自動制御法

中富 葆造\*・岩水 哲夫\*\*

## AUTOMATIC CONTROL METHOD FOR UNIT SYSTEM TUBE MILL COAL FEEDING BY THE USE OF AN ELECTROACOUSTIC MILL LEVEL METER

Hōzō NAKATOMI, Tetsuo IWAMIZU

### Outline:

Since the thermal Power Plants in the Kyushu Districts are obliged to use low quality coal for fuel, they have no alternative but to utilize combustion of pulverized coal.

The Unit System Tube Mill is a low costing Pulverizer, but this system has its difficulties with automatic coal feeding. The reason being that as the feed control is carried out by interlinking the draft of the exhauster which blows the pulverized coal into the furnace with the feed rate of the coal feeder, after operation over a long period, excessive quantities of coal accumulate within the mill causing Mill-over or shortage of pulverized coal comes about decreasing the load of the Power Plant. With such difficulties constantly happening, perfect automatic combustion cannot be obtained.

These defects can be corrected by disconnecting the interlink between the coal feeder and the exhauster, and controlling the feed rate of the coal feeder so that a fixed quantity of coal is constantly retained within the Tube Mill.

Since a detector is necessary to determine the quantity of coal retained in the Tube Mill, the Author has invented and developed an Electro-acoustic Mill Level Meter which is quick responding and enables the operator to accurately detect the quantity of coal retained within the Mill.

Recently the Unit System Tube Mill coal feeding system of the No. 2 Minato Power Plant of the Kyushu Power Company was completely switched to automatic operation by the use of this invention. Following this, the same automatic coal feeding system was installed at the Aino-ura Power Plant which brought about excellent operating results.

This thesis reports on the outline of this Invention.

Received May 31, 1962.

### は し が き

産炭地九州地区の火力発電所に於ては低品位炭を燃料とする使命を持つているため、微粉炭燃焼を行なわざるを得ない。微粉炭製造装置とくに低廉な装置はユニット方式のチューブミルであるが、給炭系統の自動制御に問題があつた。即ち炉内に微粉炭を吹き込む排炭機のドラフトと給炭機との速度とが連動されることによつて給炭制御をやつているため、運転中ミル内の保有石炭が多過ぎてミルオーバーしたり、微粉炭が不足

して発電所の出力が減少したりすることが絶えず起つて、完全自動燃焼は不可能とされていた。この欠点を除くには、給炭機と排炭機との連動を解き、チューブミル内の保有石炭量を一定適量に保持するよう給炭機を制御すればよい。そのためにはチューブミル内の保有石炭量の検出が必要であるから、筆者は音響式炭面計を発明開発し、応答迅速で正確に保有石炭量を検出することに成功し、これを用い既報<sup>1)2)3)</sup>のように、九州電力株式会社港第2発電所のユニット方式チューブミルの給炭系統を含め完全自動燃焼化を行つた。更に最近、相浦発電所のユニット方式チューブミル6号缶Cミルについても、給炭系統を含めた完全自動燃焼に

\*鹿児島大学工学部電気教室

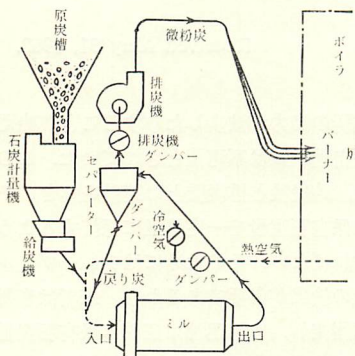
\*\*九州電力株式会社総合研究所

成功した。特に相浦発電所は建設当初から差圧式炭面計、即ちミル出口に2本のパイプを挿入して、その差圧でミル内の石炭保有量を検出する装置を使用して、給炭系統の自動制御が度々試みられたが成功しなかつたのである。その理由は最近、新小倉発電所に於て実施した差圧式炭面計と音響式炭面計との比較試験によつて明かとなつた。即ち両者とも夫々特長を持ち、差圧式炭面計はミル内への給炭が容量限度まで増加し、排炭と平衡し安定している場合、換言すればミルレベルが最高限度付近に達し、一定に保持されている状態であれば、大気圧を規準としてミルレベルを指示出来る特長を持つている。然し給炭量も排炭量も変動している場合のように、ミルドラム内の気圧変動がある場合は、差圧式炭面計はミルレベルを全然指示することが出来ない。これに対して、音響式炭面計はミルドラムが空炭から満炭まで、更にドラフトの変動があつても、ミル内石炭保有量（正確に言えばミルレベル）を忠実に指示することを確かめることが出来た。この実験結果については別途詳細に報告する積りである。

本報告書では相浦発電所のチューブミルの保有石炭量の検出器として音響式炭面計を利用し、自動制御を実施し、周波数応答法によつてプロセス解析を行ない、併せてミルの容量試験を実施した結果を纏めたものである。

### 1. 供試チューブミルの性能と特性

今度の研究実験のため採用した供試ミルは、相浦発電所6号缶Cミルである。第1図は石炭が給炭機によ



第1図 チューブミルの給炭・粉碎・粗粉分離および排炭装置図

つてボイラの炉内に吹き込まれるまでの系統図である。

又、ミルの主なる仕様を示せば次の通りである。

公称容量	15T/H
ミルドラム寸法	内直径 2640 mm
	長さ 3996 mm
	内容積 21.88 m <sup>3</sup>
ドラム速度	回転数 18 r.p.m
	円周速度 2.19 m/sec
ミルボール量 (指定量)	22×10 <sup>3</sup> kg
製作者	三菱長崎造船所

貯炭槽の石炭は石炭計量機を通り、給炭機でミルドラムに送り込まれ、同時に200°C前後の熱風で乾燥させられながら粉砕される。この熱風はミル出口温度を規定温度以上に上昇しないように冷空気を混入するとともに、ミル入口のドラフトが-10mm Aqになるようダンパーでドラフト制御されている。

ボイラの炉内へ送り込まれる微粉炭量は、排炭入口ダンパー開度がボイラ自動制御系のボイラマスターによつて制御されている。この所要量に應ずる微粉炭量を製造するためのミルドラム内の粗粉炭量を、筆者はミルレベルと定義している。ミルレベル制御のためには、給炭機速度を大幅に変えねばならないから、当所では給炭機を駆動する電動機として直流分巻電動機が用いられている。

相浦発電所6号缶の微粉炭製造装置は、微粉炭を製造しながらボイラに送り込む、所謂ユニット方式チューブミルで1缶に3ミルドラム設備され、全負荷の時でも2ドラム使用し、1ドラムは予備である。ユニット方式ではミルレベルは排炭機のダンパー開度に左右され、そのダンパー開度はボイラ負荷に左右されるから、調整発電所に於ては激しい負荷変動のためミルレベル制御は難問題とされ、その上に炭質が悪く、特に湿分の多い石炭が来れば、粉碎能力が急激に低下するから制御し難いことは当然である。従前はミルオーバーが多く、ボイラ自動燃焼制御装置の一環としてミルレベル制御を取入れることが度々試みられたが、成功しなかつた原因の一つでもある。その後、筆者の開発した音響式炭面計が当所全缶に設備され、運転員の操作の熟練と相対つてミルオーバーは少くなつた。然し現在でも時々ミルオーバーが起る原因は、湿分8%以上の湿炭が供給されることがしばしばあることと、セパレーターの戻り炭が余りに多いこと等である。セパレーターの戻り炭量は20 T/H以上であり、200メッシュ以下の細い粒度のものが多く含まれ、無駄な微粉炭循環が繰り返えされている（港第2発電所では普通

石炭が乾燥していることと戻り炭が非常に少いため給炭系統の全自動化が容易であつた)。今度、当所6号缶Cミルを完全自動化するにあたり、港第2発電所の場合と同様に既設の設備を改造することは極力避け、調節計も市販の入手容易なものを使用し、制御回路に工夫をこらして完成したものである。

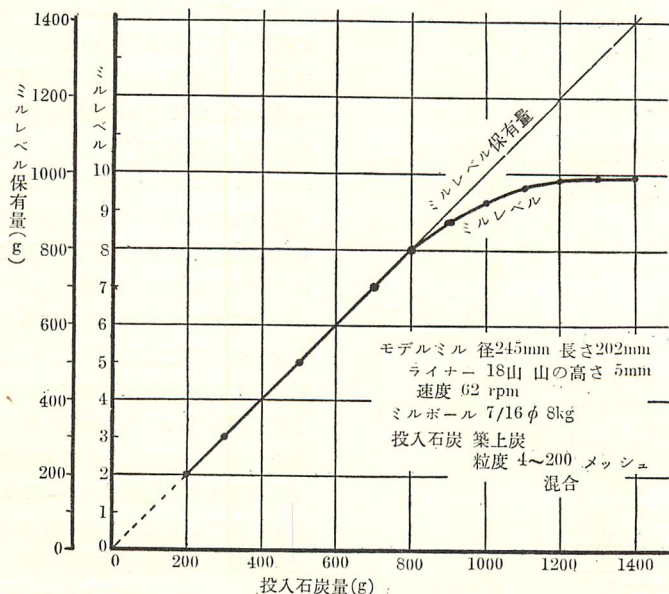
## 2. 音響式炭面計とミルレベル

筆者はミルレベルの定義を前述のように与えたが、これから論旨を進める上にミルレベルについて更に解説を加えておこう。

まずミルを完全に空の状態とし、或時刻から給炭すれば、粗粉炭はボール間の空隙に這入り込んで、直ちに粉碎動作が起るため、1部分は微粉炭となつて約40~50秒程度経過すれば、ボイラ炉内への吹込口(パーナー)まで達する。大部分の粗粉炭はボールとともに運動しながら粉碎され、次第に所要の粒度の微粉炭となる。かようにボールとともに運動しながら粉碎されつつある石炭量を筆者はミルレベルと称している。従つて、空ミルの状態から1定給炭量の連続給炭すれば、ミルレベルは次第に飽和し、更に給炭量を増せばミルドラム内の石炭保有量は増しても、ミルレベルは殆んど増加しないまま、ミルドラム内の保有石炭量は横溢し遂にミル出口からミルオーバーが起る。ミルドラム内で微粉製造にあずかる石炭は、ミルボールの間

に混在して粉碎動作を受ける粗粉炭量、即ちミルレベルである。ドラム内の全石炭保有量からミルレベルを差引いた石炭は、微粉炭の製造には預らない石炭で2種類ある。その1つは、ミルレベルの飽和状態以上の過剰給炭量と、今1つはセパレーターからの戻り炭でミルレベルとならない循環微粉炭である。ミルドラム内の全保有石炭量から、この循環微粉炭を差引いたものをミルレベル保有量と名付けることとする。

音響式炭面計はチューブミル内のミルボールの運動によつて発する騒音をマイクロフォンで收音し、音響電流へ変換し、更に1200c/s以下の低周波数成分を除去し、可動コイル形ミリ電流計で指示する装置である。そこで完全な空ミル状態の音響電流が最大値をとり、石炭がミルに投入されると粉碎されてボール間に侵入し、クッション作用を与えるから、ボールの運動によつて起る騒音は減少し、従つて音響電流も減少する。ミルボール間に侵入する石炭量、即ち前述のミルレベルと炭面計電流とは直線関係であるため、この音響式炭面計電流はミルレベルを忠実に指示する<sup>5)</sup>。音響式炭面計は増幅器を内蔵し、増幅度を調整して計器の振れを増減することが出来る。そこで空ミルの時の炭面計電流が最大であるから、炭面計の指示計の最大振れの目盛(普通の計器の最大振れの目盛を0とし、0の目盛を10と刻んだもの)に一致させる。そして音響式炭面計でミルレベルを表示するには、空ミルの最大



第2図 モデルミル実験により求めたミルレベルとミルレベル保有量の関係

振れをミルレベル  $M=0$  とし、飽和状態となつた時の音響式炭面計の振れをミルレベル  $M=10$  とする。その中間のミルレベルは  $0$  と  $10$  間を等分目盛をして表示し、この目盛の読みをミルレベルと定義することとする。

ミルレベルとミルレベル保有量との関係を定量的に求めることは実際のチューブミルでは困難であるから、小形モデルミルによつて、実験的に求めたものが第2図である。実際のチューブミルではセパレーターの戻り炭があつて、セパレーターの特性に不連続性(粗粉分離能力がドラフトによつて急に変動するものもある)がなければ、戻り炭量はミルレベルに大体比例すると見ることが出来るから、ミルレベルは第2図に比較して、 $M=10$  付近で急に飽和する傾向となる。

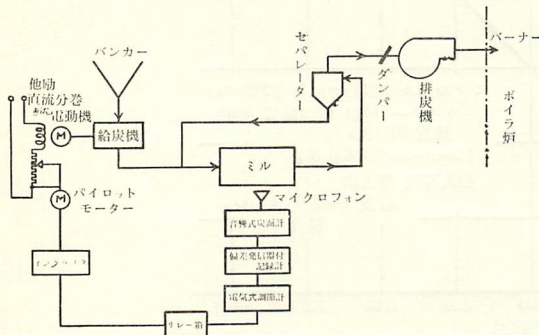
若し石炭の湿分が増せば乾燥炭に比較して同じミルレベルに対するミルレベル保有量は少くなる。要するに

$$\text{ミルレベル} = (\text{石炭量}) + (\text{湿分}) \dots\dots\dots (1)$$

と考えてよい。石炭の湿分が多くなればミルの粉碎能力が減退するから、微粉炭製造量を減少させないためにはミルレベル保有量を減少せねばならぬ。音響式炭面計でミルレベルを検出すれば(1)式が満足されるから、石炭の湿分の変動をも含めて給炭制御が出来る特長がある。ただ湿分が8%以上となれば、ミル入口や石炭輸送管に湿炭が詰つたり、スチックしたりして石炭の流れが断続する。この状態となれば、もはや給炭自動制御とは別問題である。

### 3. ミルレベル制御の系統

ミルレベル制御装置の系統図を示せば第3図である。給炭機はテーブル回転形で、容量3KWの他励直流分巻電動機で駆動され、パイロットモーターで界磁



第3図 ミルレベル制御装置系統図

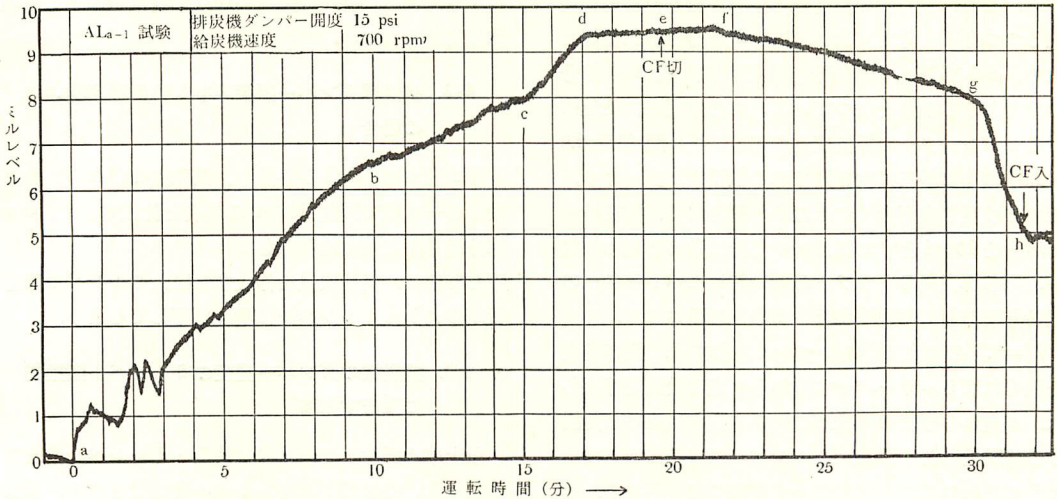
抵抗器を増減させて回転速度を制御している。その上ワードレオナード法を採用しているから、3系列のミルドラムを同時に電機子電圧を変え、回転数を変化することが出来る。この電機子電圧をボイラマスターの指令で調整されているから、ボイラマスターから切り離して電機子電圧は3系列ともに常に一定に保ち、パイロットモーターによる界磁抵抗だけで各系列を単独で速度制御出来る状態とし、ミルレベル調節計の与える指令で各ミル単独に速度制御出来るようにした。音響式炭面計はO社に依頼して製作したもので、ミルレベルを検出し、偏差発信器付記録計、電気式調節計、リレー箱、インタラプタを経て給炭機のパイロットモーターを動作させ、給炭量を増減させるものである。リレー箱とインタラプタを設けたのは、既設のパイロットモーターをそのまま使用したための手段で、断続制御的要素が加つたため微分動作に悪影響を及ぼすことを心配したが杞憂であつた。

記録計はO社製の電子管式自動平衡計器で、設定値と偏差発信器が内蔵されている。調節計もO社製で比例、積分、微分の各動作を含み、入出力間の信号伝送が、すべて電気的に行われる純電気式の調節計である。

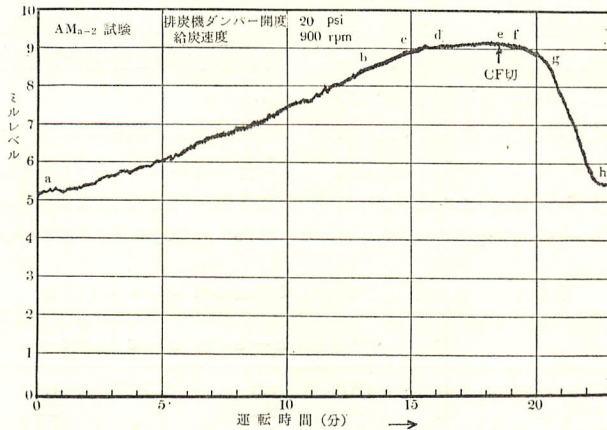
### 4. 排炭機ドラフトのミルレベルの制御性に及ぼす影響

チューブミル内で製造される微粉炭量はミルレベルの関数となることは明かであるが、その関数形を解析することは困難である。これが解明を試みるためモデルミルによつて種々の実験を行ない、ミルドラム内の粉碎過程を明かにすることは出来たが<sup>(3)(4)(5)</sup>、実際のチューブミルではセパレーターがあり、ドラフトをかけて循環させるためミルの動特性を知るには、セパレーターの戻り炭量を正確に連続測定出来ない限り、完全に究明することは困難である。

一般にミルレベルは排炭機のドラフトに影響され、ミルレベル設定値の如何によつてミルレベル変動量が変わる。この関係を明かにするため、これから述べるような実験を行なつた。6号缶Cミルは排炭機のドラフトをダンパー開度によつて調整するようになって(その開度の変化範囲は3~27psiで、psiの大きい程ミルドラフトが強く、ボイラ炉内へ吹き込まれる微粉炭量が多いことを示すものである)。排炭機のドラフトとミルレベルとの関係を知るため、先ずミルを完全に空の状態とし、一定量で連続給炭してミルレベルの



第4図 排炭機ダンパー開度 15psi, 給炭機 700r.p.m. における時間・ミルレベル曲線



第5図 排炭機ダンパー開度 20psi, 給炭機 900r.p.m. における時間・ミルレベル曲線

変化を実測したものが第4図と第5図である。前者は排炭機ダンパー開度を 15psi とし 給炭機速度を 700 r.p.m に保持した場合で、後者はダンパー開度を 20psi とし給炭機速度を 900r.p.m. に保持した場合である。ミルレベルの飽和点を知るため排炭機のドラフトを強くした時は、給炭量をこれに応じて増加して実測したものである。これ等のグラフは再現性があるから、このミルレベルの変動のグラフによつてチューブミルの動特性を判断することが出来る。

4-1. 排炭機ダンパー開度 15psi, 給炭機 700r.p.m の場合

第4図 a 点で給炭開始し、d で飽和ミルレベルに達

したので e 点で給炭機を停止したままにして h に達したものである。

a 点から 7 秒間は粉碎が行われずミルレベルとなり、その後は石炭がミルボール間に行き直つて侵入し、微粉炭が製造され、35 秒目頃から生成微粉炭がミルドラムから排出され始め、殆んど全部バーナーへ送り込まれるからミルレベルはちよつと下降する。1分 30 秒目頃からミルレベルは再び上昇し、その後はハンチングしながら上昇するためセパレーターからの戻り炭がミルレベルになるものと判断される。このハンチングは戻り炭がフィードバックされ始め戻り炭管のダンパーのおどりによるものと考えられる。その後は  $M=6.3$  の b 点まで殆んど直線的にミルレベルが増加

する。これは微粉炭の製造量も戻り炭量も直線的に増加しつつあると考えてよい。b-c-d 部分は折れ直線となり、c-d 部分は a-b 部分とは同じ傾斜で、b-c 部分の傾斜がゆるやかとなっている。この原因は、風量によるセパレーターの抵抗変化が起り、b-c 間 ( $M=6.4 \sim 8.0$ ) は特に炉内に吹き込まれる微粉炭が多くなり、それだけ戻り炭が少くなるためと解される。排炭機ダンパーを 20psi とすれば、b-c 部分は殆んど現われない。即ち排炭機のドラフトの弱い時はセパレーターの粗粉分離作用に不連続が起るためと判断される。

$M=9.3$  の d 点でミルレベルは飽和する。更に給炭を続ければミルオーバーするから e 点で給炭を停止した。e 点から原炭の供給がないから戻り炭だけで見掛けの給炭量となるから、ミルレベルは直ちに低下するように思われるが、実際は e-f 間却つて上昇する。その原因は原炭の流入しつつある時は戻り炭がミルボール間に侵入する量を阻害していたものが、給炭機停止で戻り炭のミルレベルとなる量が多くなるとともに、戻り炭の粒度も循環回数に比して細くなるから、ミルレベルは見掛け上増加する。f 点からは排炭機によって微粉炭の排出はそのまま続けられ、それだけ戻り炭が減少し、g 点 ( $M=8$ ) からはミルレベルが指数関数的変化により急激に減少する。g 点と c 点がともに  $M=8$  であることはセパレーターの変位点と考えられ

るようである。排炭機開度 20psi の時は殆んどこの現象は認められない。

4-2. 排炭機ダンパー開度 20psi, 給炭機 900r.p.m の場合

第5図 a は  $M=5$  から始まり、飽和点 d ( $M=9$ ) まで殆んど一直線で開度 15psi の場合と比較すれば、b-c 部分は殆んど消え飽和点も  $M=9.3$  から  $M=9.0$  に低下している。又給炭機を停止すれば、ミルレベル保有量が少いからミルレベルは早く低下してしまう。

4-3. 排炭機のダンパー開度のミルレベル変動量に及ぼす影響

以上第4図および第5図は時間・ミルレベル曲線であるから、その傾斜はミルレベル変動量を示す。各部に於て、この変動量の異なるのは前述の通り戻り炭量の変動に起因している。これ等のグラフで部分的に略々直線と考えられるから折線近似が出来る。即ち各部分が固有の時定数を持つ積分性であることを示している。

第4図につき各部のミルレベル変動量を求めると第1表である。又、第5図について求めたものが第2表である。両者を比較すれば、排炭機ダンパー開度の 15psi と 20psi とではミルレベル変動量が明かに異

第1表 排炭機開度 15psi の場合のミルレベル変動量

番号	項目	範囲	a-b	b-c	c-d	f-g	g-h
1	ミルレベル変動量 (M)		6.3	1.7	1.4	1.5	3
2	所要時間 (min)		9.5	6	2.0	8.5	2
3	1ミルレベル変化するに要する時間 (min/M)		1.53	3.53	1.43	8.95	0.66
4	反応速度 (M/min) (3の逆数)		0.66	0.28	0.7	0.175	1.5

第2表 排炭機開度 20psi の場合のミルレベル変動量

番号	項目	範囲	a-b	b-c	c-d	f-g	g-h
1	ミルレベル変動量 (M)		2.6	0.3	0.2	0.3	3
2	所要時間 (min)		8.7	1.2	1.0	0.5	2.5
3	1ミルレベル変化するに要する時間 (min/M)		3.34	4.0	5.0	1.6	0.83
4	反応速度 (M/min) (3の逆数)		0.3	0.25	0.2	0.6	1.2

なることを知ることが出来る。

その主なる点を要約すれば次の通りである。

(イ) 排炭機ダンパー開度を大きくし、ミルドラフトを強くすれば飽和ミルレベルは低くなる。その理由はミルドラフトが強いために粒度の粗いものまで排出され、ミルレベルとなる量が少いからである。

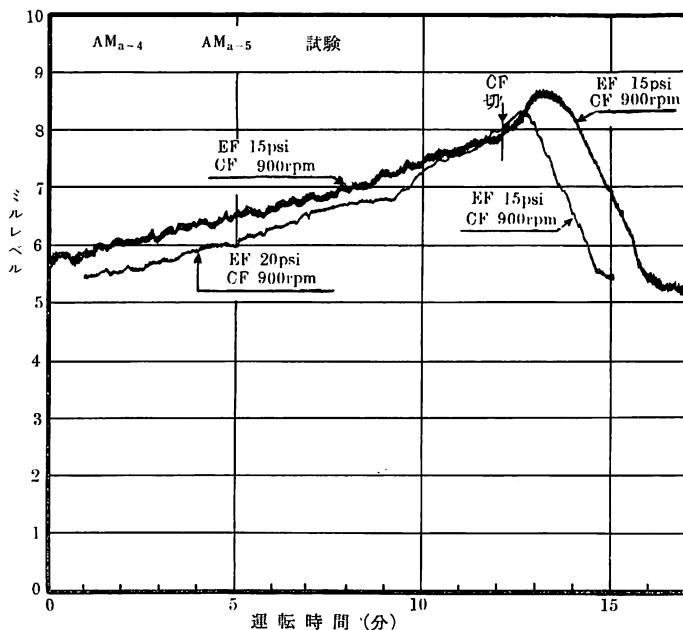
(ロ) 排炭機ダンパー開度 20psi のときは 15psi でみられた  $M=8$  のときの変位点が殆んど現われず、飽和点まで一直線に近い。即ち 20psi ではセパレーターが、ミルレベルが如何に変つても、その抵抗の変動がないことで、純粋な積分プロセスとして取扱われるから制御上は好しいことである。

例えば 15 psi の場合  $M=6\sim 9.3$  の間、ミルレベルの種々の目標値を変えて制御しようとするならば  $M=8$  で変位点があるため b-c と c-d との時定数が異なる。そこで c-d 間で調節計をセットしたら b-c 間では制御が悪くなる。

(ハ) 飽和ミルレベル点から給炭停止してミルレベルを下げる場合、20 psi のときは飽和点と変位点の値

が非常に接近して、何れも  $M=9.0$  とみなしてよい。これは制御上好しいことである。

(ニ) ダンパー開度を 15 psi と 20 psi とした場合、飽和に達しないミルレベル (例えば  $M=8.0$  付近) で給炭機を停止した時の時間・ミルレベル曲線を実測して比較したものが第 6 図である。給炭停止してもミルレベルは一旦上昇した後低下する。その原因は戻り炭



第 6 図 排炭機ダンパー開度を 15psi 及び 20psi とし飽和点以下で給炭停止した時のミルレベルの変化を比較したものの

がミルボール間に侵入し易くなり (原炭の流入している時は原炭の流れの上に戻り炭が乗るようなミル入口機構であるため、戻り炭のボール間に侵入することが妨げられる)、ミルレベルが上昇する。ミルレベルの上昇する量は 20 psi の方が少い。それは 20 psi の方が排炭速度が早いからである。この現象は飽和点付近では給炭を停止したがためのミルオーバーとなる。第 6 図から類推すれば、循環戻り炭の量は排炭機のダンパー開度によつて著しく、その量が変わるものでなくほぼ定量と考えられる。

以上 (イ)、(ロ)、(ハ)、(ニ) を総合すれば、ミルレベル制御は 15 psi より 20 psi の方が制御性が良いことは明白であり、排炭機は成可く全負荷運転とすべきで、15 psi 以下の軽負荷運転はミルレベル制御上極力避けるべきである。

尚、ここでミルレベルの制御性について注意を喚起

して置きたいことは、給炭量を増加させる場合と減少する場合は反応速度が著しく異つていることである。例えば排炭機ダンパー開度 15 psi の第 4 図に於て  $M=8.0\sim 9.3$  の変化を与える場合、給炭増加の時は c-d=2 分、給炭減少の時は f-g=8.5 分で、給炭減少の時は増加の時に比較して反応速度は数倍となる。このことはミルレベルが目標値よりも低いときは給炭量を増加すれば早く目標値に達するが、一度オーバーチャージすれば給炭量を減じて、ミルレベルが目標値まで達するに数倍の時間を要することを示している。然し  $M=8$  以下であれば全く逆となる。然しこのことは給炭を停止するというような極端な変動を与える場合であるから、実際の制御では、がよ様な急変を行うことはないため問題はない。ただミルレベルを増加する場合と減少する場合のミルレベルの反応速度は、排炭機のダンパー開度を 15 psi から 20 psi にす

れば接近する。

要するにミルレベル制御にはミルドラフトの強さが非常に大きな因子となつてることが明かとなつた。

### 5. 限界感度法による自動制御系の調整

自動制御系に使用した調節計の性能および仕様を示せば

製作者	O社 全電気式
制御方式	連続式, 比例, 積分, 微分 3項動作
比例帯	0~500%
微分時間	0~8分
リセット率	0.01~100 rep/min
消費電力	AC 100V 50W

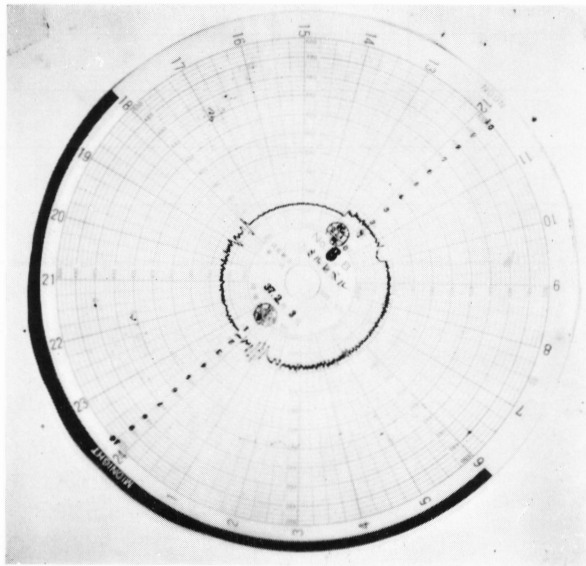
操作回路の改造としては, 演算回路の饋還ブリッジのためにセルメーターと称する摺動抵抗器を給炭機のパイロットモーターに取付けただけである。

給炭機の速度制御装置は既設のものを使用するから, その定格は間歇定格で設計されている。それをこのミルレベル自動制御装置に取り入れて連続使用となるから, 使用頻度は著しく増加し, 機構上の弱点や不備の点が多く, いつも故障の原因となつている。そこで自動化するに当つて, これらの機構的不備を充分補強することが必要である。

先ず限界感度法で3項動作を大体セットしておき, セットした付近で少しづつ各動作の値を変えて試用した結果, 最終的には次の値を得た。

比例帯	15%
リセット率	0.3 rep/min
微分時間	0.1 min

上記のセットでミルレベル自動制御し, 24時間運転した結果のミルレベルのチャートを示せば第7図である。時々目標値をかえてボイラ負荷に対応させてい



第7図 比例帯15%, リセット率0.3r.p.m./分, 微分時間0.1分でセットし24時間自動運転結果。(時々目標値をかえてボイラ負荷に対応させたもの)

る。大きくハンチングしているのは石炭湿分の著しい変動の影響と考えられる。

### 6. 過渡応答法によるプロセス解杵

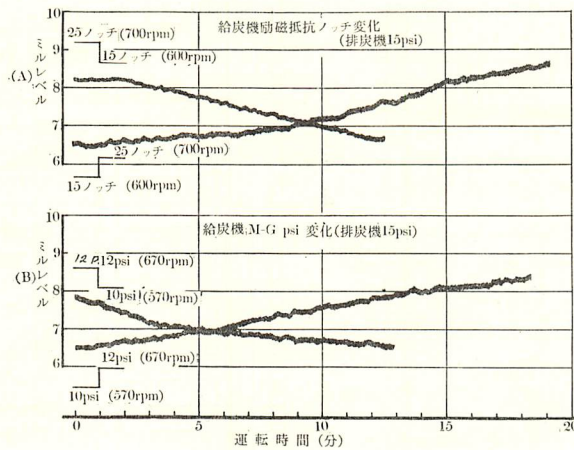
#### 6-1. 給炭量のミルレベルに及ぼす影響

給炭機の速度変化には界磁抵抗器で主界磁磁束を変える方法と, 電動発電機の磁束をかえて給炭機電機子電圧をかえるワードレオナード法と2方法が併用され

る。前者はパイロットモーター, 後者は空気圧操作機構で遠隔操作の出来るようになつているから, 前者に対し10ノッチ, 後者に対し2psiの変化量を与えると, 各々約100r.p.m.の速度変化が起り, 第8図(A), (B)に示す2通りの過渡応答試験が得られた。何れもむだ時間を含む積分動作である。

(A), (B)を比較すれば給炭機回転数をかえた手段は違つても, 応答特性は殆んど同時で, 上昇, 下





(A) 給炭機の励磁抵抗で r.p.m. を変化した時のミルレベル過渡応答  
 (B) 給炭機の電機子電圧で r.p.m. を変化した時のミルレベル過渡応答  
 第 8 図 ミルレベル過渡応答曲線

降の平均値をとれば次の値が求まった。

- (イ) むだ時間 1 分間
- (ロ) 100 r.p.m. ステップ変化で 1M 変化させるに要する時間 6 分

但し排炭機ダンパー開度は 15 psi である。

故に給炭機 1 r.p.m. で 1M かえるには 600 分を要し、これが時定数である。

故に伝達関数は

$$G_1 = \frac{e^{-s}}{600s} [M/r.p.m.] \dots \dots \dots (2)$$

次に第 8 図 (A) ではノッチ n の変化量に対する給炭機回転数 r.p.m. の変化量は

$$K_1 = \frac{(700-600) [r.p.m.]}{(25-15) [n]} = 10 [r.p.m./n] \dots \dots (3)$$

(2), (3) 式から給炭機ノッチ変化に対するミルレベル伝達関数は

$$G_M = K_1 G_1 = \frac{10e^{-s}}{600s} = \frac{e^{-s}}{60s} \dots \dots \dots (4)$$

実際 (4) 式には 1 次遅れを含んだ操作部の遅れがあるが 2 秒位であるから、無視して (4) 式のみで表わすこととする。

6-2. 排炭機外乱のミルレベルに及ぼす影響

排炭機ダンパーに 6-1 節と同様ステップ変化を与えたが、他の外乱のためよく出なかつたので省略する。

7. 周波数応答法によるプロセス解析

プロセス解析のため周波数応答試験を実施し、さき

に限界感度法でセットした値が適当かどうかを検討した。

周波数応答法とはプロセス入力に正弦波を加えたときは、プロセス出力は当然正弦波となることが予想されるので、入力振巾を一定に保ち周波数を変えて、出力と入力の振巾比と位相差を求める方法で、過渡応答法が 1 回で済むのに対し、相当の労力と時間を要するが正確である。そこでこの方法も実施した。

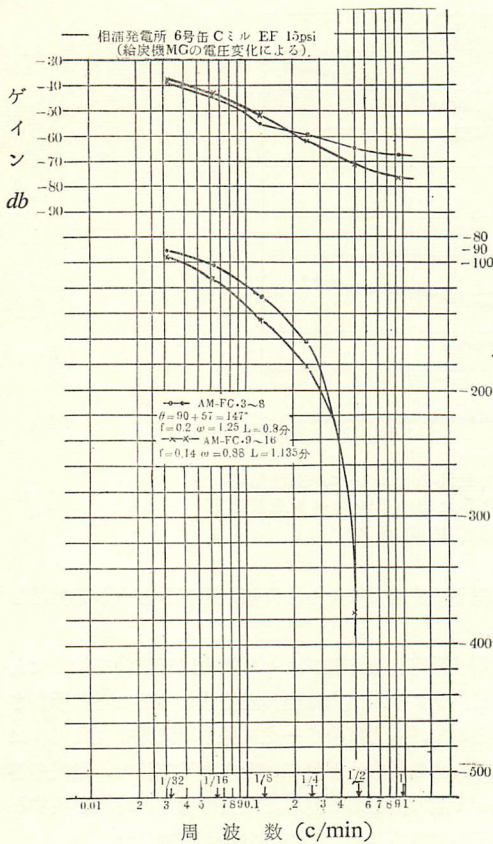
この試験に使用した周波数応答試験器は次の通りである。

製造者	横河電機製作所
方式	空気圧式、フラッパーノズル形
波形	正弦波
圧力振巾	0.55~0.055 kg/cm <sup>2</sup> 連続
中心圧力	0.5~1.8 kg/cm <sup>2</sup>
周波数	1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 c/min

7-1. 給炭量のミルレベルに及ぼす影響

試験器が空気圧式であるから給炭機ノッチ変化は出来ないが、幸に電機子電圧を変化させて回転数を変えることが出来たから、ノッチは一定に保持し空気圧で正弦波入力を与えた。

試験は排炭機ダンパー開度 15 psi のとき 1/2~1/32 c/min で 2 回 (AM-FC. 3~8 と AM-FC. 9~16 試験) 実施し、ボード線図にしたものが第 9 図である。第 9 図は



第9図 給炭量の周波数応答試験

$$G = \frac{e^{-Ls}}{Ts}$$

という形のものであることが一目瞭然であるから、(2)式

$$G_1 = \frac{e^{-s}}{100s}$$

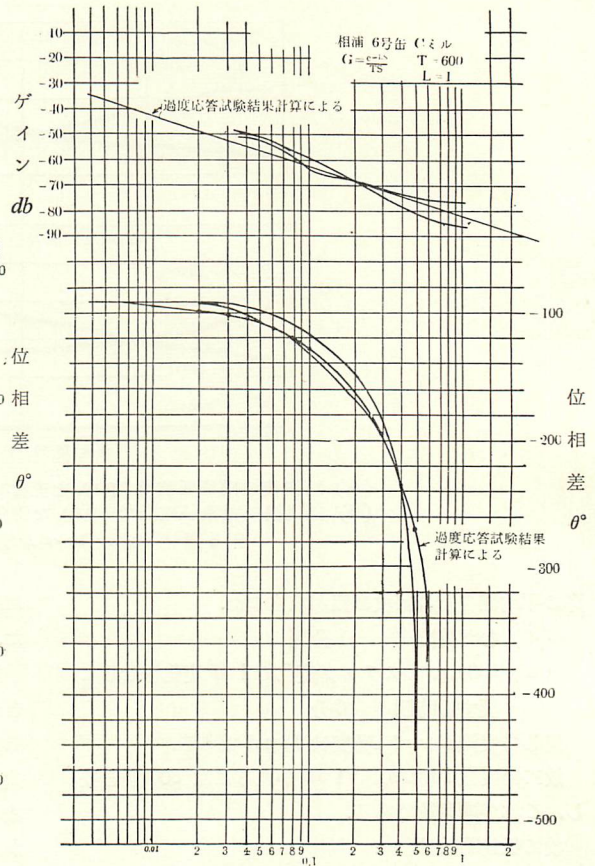
を用い計算によつて求めたグラフを第9図の実験で求めたグラフの上に重ねたものが第10図である。

第10図では周波数応答で求めたものと、過渡応答で求めたものとは全く同様であることが判明したので、以後給炭量の伝達関数には(2)又は(4)式を使用することとする。

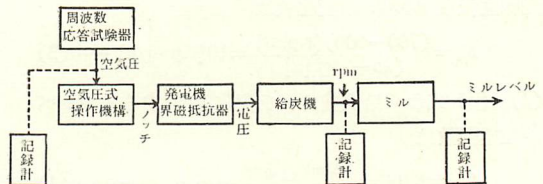
第11図は周波数応答試験のブロック線図である。

7-2. 排炭機外乱のミルレベルに及ぼす影響

給炭量の場合と全く同様に排炭機ダンパー開度に正弦波入力を加え、ミルレベルの周波数応答を求めたものが第12図のボード線図である。



第10図 過渡応答試験と周波数応答との比較



第11図 周波数応答試験ブロックダイアグラム

このボード線図から判断すれば伝達関数は次式で表わされる。

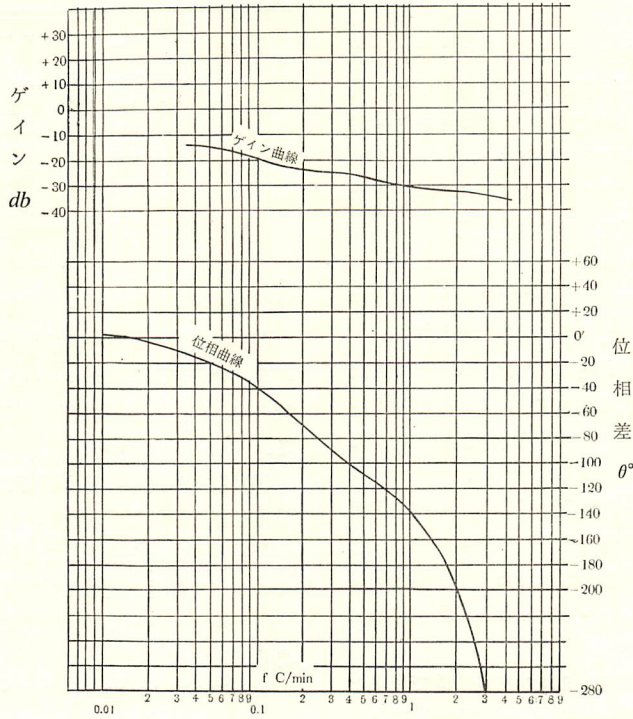
$$G_E = Ke^{-Ls} \dots \dots \dots (5)$$

Kの値はゲイン曲線で -25 db に近いものであるから

$$K = -25 \text{ db} = 0.056$$

Lは -57° のときの  $f = 0.15 \text{ c/min}$  であるから

$$L = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{2\pi(0.15)} = \frac{1}{0.943} \approx 1 \text{ 分}$$



第12図 排炭機の周波数応答試験

故に(5)式は

$$G_E = 0.056 e^{-s} [M/psi] \dots \dots \dots (5)'$$

8. ボード線図による調節計の調査

第9図及び第12図のボード線図を利用して計算し、給炭量制御系の比例帯、リセット率、レート時間を求めると次のようになる(計算は省略する)。

- レート時間            1分
- リセット率            0.4 rep/min
- (積分時間)        (2.5分)
- 比例帯            上限 16%
- 下限 28%

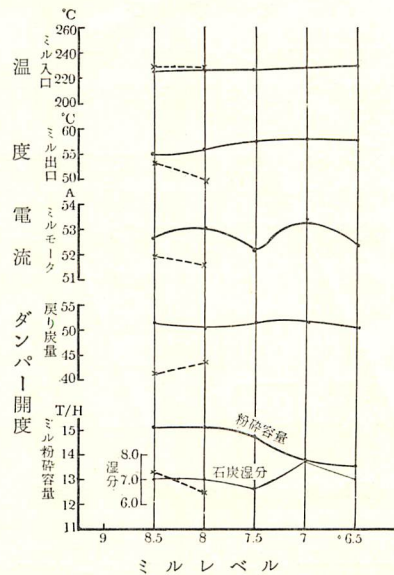
同様にして排炭機外乱による比例帯、リセット率、レート時間を求めると次のようになる。

- レート時間            0.15分
- リセット率            2.64 rep/min
- (積分時間)        (0.38分)
- 比例帯            上限 10%
- 下限 18%

9. 容量試験

ミルの粉砕容量を知る目的で、排炭機入口ダンパー開度を 15 psi と 20 psi とに保持した時、ミルレベル

制御を自動運転として種々のミルレベルに1定に保ちつつ3時間連続給炭したときの結果を示せば第13図



第13図 ミル容量試験(3時間運転平均値)

ミル出口ドラフト 155 mmAg (実線: EF 20 psi)

ミル入口ドラフト -9 mmAg (点線: EF 15 psi)

である。

粉碎量は給炭量で代表させることにしたから、石炭計量機を30分毎に読み1時間の平均値をとつた。同時にミル入口温度、ミル出口温度、ミルモーター電流、戻り炭量(ダンパー開度を指数として表わした)を記録計で連続記録し、平均値を求めて表わしたものである。又試験当時の石炭の湿分を記入してある。

この結果から次のことがいえる。

(イ) 同一ミルレベルでは排炭機によりミルドラフトを強くすればする程、生成微粉炭量は増加する。

(ロ) ミルドラフトが1定であればミルレベルを高くする程、生成微粉炭量は増加する。この試験はミルオーバーの危険があるため  $M=9$  以下で試験を行つたものであるから飽和点では確めては無い。

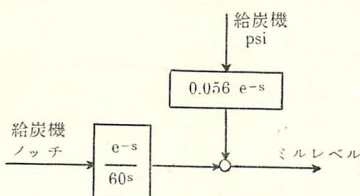
(ハ) 排炭機ダンパー開度 20 psi でミルレベル7の場合、急激に生成微粉炭量が少くなつてゐるのは、たまたま湿分8%の原炭が供給されたため、湿分7%程度の原炭であればミルレベルは7.5~6.5と思われる。

(ニ) ミルモーター電流がミルレベル7.5で最小となつてゐる。この現象はモデルミル試験でも現われる。ミルボールの量に対するミルレベルが或値となれば、運動が特に円滑となる点があるようである。

## む す び

相浦発電所6号缶Cミルを自動制御理論的解析を行ない容量試験を実施した結果を考察すれば次の結論が得られる。

(1) ミルレベル給炭量に関する伝達関数はむだ時間を含む積分動作であり、排炭機の外乱に対してはむだ時間を含む比例動作で第14図のブロック線図が得ら



第14図 ミルレベルのブロック線図

れる。

(2) 限界感度法でセットした値とボード線図で求めた値を比較すれば次のようになる。

給炭量変化と排炭機外乱は同時に起つてゐる。この現象は更に究明する必要がある。上表で比例帯は大体

項 目	比例帯 %	リセット率 rep/min	レート時間 min
限 界 感 度 法	15	0.3	0.1
給 炭 量 (計算値)	上限 16 下限 28	0.4	1
排炭機外乱 (計算値)	上限 10 下限 18	2.64	0.15

良いがリセット率とレート時間は少いようである。

(3) 排炭機ダンパー開度を大きくしてミルドラフトを強くする程、飽和ミルレベルは下り、戻り炭量の変位点なくなるから線形に近くなり制御性はよくなる。

(4) 現在の調節計では原炭の湿分7%以下であれば満足な制御結果が得られる。

(5) ドラフトを強くして目標値を高くセットし飽和ミルレベル付近で使用した方がミル容量は増大するので、ミルオーバーしない程度に高くして運転すべきである。

以上筆を置くに当り、現場実験の実施に御協力下された九州電力株式会社の各位に深甚の謝意を表するとともに、実験に加勢された宮本正利、川原浩一郎、川床秀雄の3君の労に感謝する次第である。

## 文 献

- 1) 中富・岩水：火力発電所に於けるチューブミルの自動制御方式の1例について。鹿児島大学工学部紀要，第9号，昭和35年8月30日。
- 2) 中富・岩水・安田・宮本・川原：音響式炭面計によるチューブミルの自動制御法(1)一港第2発電所のミルレベル自動制御実施例—九州電力・研究期報第13号，昭和35年5月。
- 3) 中富・岩水：チューブミルのミルレベル制御について。電力，第43巻，第11号。
- 4) 中富・岩水・安田・宮本・川原：電気音響的方法によるチューブミルの粉碎特性の研究(その1) —ドラム速度とミルボールの数量について—九州電力・研究期報第14巻，昭和34年下期。
- 5) 中富・岩水・安田・宮本・川原：電気音響的方法によるチューブミルの粉碎特性の研究(その2) —音響式炭面計のミルレベル指示と微粉の粒度との関係について—九州電力・研究期報，昭和35年上期。
- 6) 中富・岩水・安田・宮本・川原：電気音響的方法によるチューブミルの粉碎特性の研究(その3) —ミルライナーの粉碎特に与える影響—九州電力・研究期報，昭和35年下期。